

日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

OF014930 US  
09/74,266  
Hayakawa / w  
GAU: 2612

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日

Date of Application

2000年 5月22日

出願番号

Application Number:

特願2000-150453

出願人

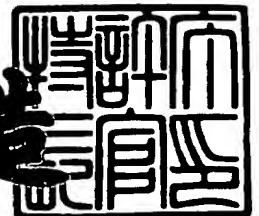
Applicant(s):

キヤノン株式会社

2000年12月 8日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3102676

【書類名】 特許願

【整理番号】 4219008

【提出日】 平成12年 5月22日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 27/00

【発明の名称】 光学ローパスフィルタ及びそれを用いた光学機器

【請求項の数】 13

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 早川 慎吾

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

【識別番号】 100086818

【弁理士】

【氏名又は名称】 高梨 幸雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009623

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703877

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学ローパスフィルタ及びそれを用いた光学機器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を該複数枚の複屈折板の光学軸が互いに異なる方向を向くように組み合わせて接合して平行平板状に構成したことを特徴とする光学ローパスフィルタ。

【請求項 2】 前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板のうち少なくとも 2 つはそれらの光学軸の平行平板の入射面又は射出面への正射影が互いに 4 5 度の角度をなすように設定されていることを特徴とする請求項 1 の光学ローパスフィルタ。

【請求項 3】 前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を互いに接合する際、該複屈折板の表面には、接着剤と複屈折板の界面における可視波長域の光線の反射防止作用を有する誘電体薄膜を付加したことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学ローパスフィルタ。

【請求項 4】 前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を  $\theta_0$  とするとき、少なくとも 1 枚の複屈折板においては、

$$10^\circ < \theta_0 < 27^\circ$$

$$61^\circ < \theta_0 < 80^\circ$$

のいずれかの条件式を満足することを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の光学ローパスフィルタ。

【請求項 5】 3 枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を接合して平行平板状に構成した光学ローパスフィルタであって、該 3 枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板は、その光学軸の該平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影が、互いに 4 5 度の角度をなすように設定されていることを特徴とする光学ローパスフィルタ。

【請求項 6】 前記 3 枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を出入射側より順に第 1、第 2、第 3 の複屈折板とし、該第 1 の複屈折板、第 2 の複屈折板、第 3 の複屈折板の各々の射出面における常光線と異常光線の分離幅を各々  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  とするとき、

2、D3とするとき、

$$D1 \div D3 > D2$$

の条件式を満足することを特徴とする請求項5の光学ローパスフィルタ。

【請求項7】 前記第2の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を $\theta 2$ とするとき、

$$10^{\circ} < \theta 2 < 27^{\circ}$$

$$61^{\circ} < \theta 2 < 80^{\circ}$$

のいずれかの条件式を満足することを特徴とする請求項5又は6の光学ローパスフィルタ。

【請求項8】 請求項1から7のいずれか1項の光学ローパスフィルタを介して撮影素子上に画像を形成していることを特徴とする光学機器。

【請求項9】 光学ローパスフィルタを介して撮影素子に画像を形成する光学機器であって、該光学ローパスフィルタは、複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を接合した平行平板状より成り、該複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板光学軸の該平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影は互いに略 $45^{\circ}$ の角度をなすように構成され、そのうちの少なくとも1つの正射影は該撮影素子の長辺方向と略 $45^{\circ}$ の角度をなすように構成したことを特徴とする光学機器。

【請求項10】 光学ローパスフィルタを介して撮影素子に画像を形成する光学機器であって、該光学ローパスフィルタは、3枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を接合して平行平板状より成り、該ニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板は、その光学軸の該平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影が、該撮像素子の長辺方向と略 $45^{\circ}$ の角度をなす第1の複屈折板と、該第1の複屈折板の正射影と略 $45^{\circ}$ の角度をなす第2の複屈折板と、該第1の複屈折板の正射影と略 $90^{\circ}$ の角度をなす第3の複屈折板とをこの順に組み合わせて構成したことを特徴とする光学機器。

【請求項11】 前記第1の複屈折板、第2の複屈折板、第3の複屈折板の各々の射出面における常光線と異常光線の分離幅を各々D1、D2、D3とするとき、

$$D1 \neq D3 > D2$$

の条件式を満足するように構成したことを特徴とする請求項 10 に記載の光学機器。

【請求項 12】 前記第 2 の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を  $\theta 2$  とするとき、

$$10^\circ < \theta 2 < 27^\circ$$

$$61^\circ < \theta 2 < 80^\circ$$

のいずれかの条件式を満足することを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の光学機器。

【請求項 13】 前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を  $\theta 0$  とするとき、少なくとも 1 枚の複屈折板においては、

$$10^\circ < \theta 0 < 27^\circ$$

$$61^\circ < \theta 0 < 80^\circ$$

のいずれかの条件式を満足することを特徴とする請求項 9 から 12 のいずれか 1 項の光学機器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光学ローパスフィルタ及びそれを用いた光学機器（撮影装置）に関し、例えば CCD 等の固体撮影素子を使用する電子写真カメラ、ビデオカメラ、デジタルカメラ等に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

CCD、MOS 等の 2 次元の固体撮像素子を使用するデジタルスチルカメラやビデオカメラ等の撮像装置においては、被写体像を画素ピッチ毎にサンプリングするために、空間周波数の高い成分を持った被写体の撮影時には、高周波数成分の折り返し像が低周波数成分として出力される偽解像信号が発生し、被写体像の解像度を低下させる要因となっている。また、単板式のカラー固体撮像素子を使

用する撮像装置においても同様に、空間周波数の高い成分を持った被写体の撮影時には、各画素の前方に配置されるカラーフィルターの配列によって決まる偽色信号が発生し、被写体像の色再現性を低下させる要因となっている。

## 【 0 0 0 3 】

従来より撮影系の光路中に設けてこのような被写体像の高周波数成分による偽解像信号や偽色信号を低減させる手段として光学ローパスフィルタがあり、種々と提案されている。その中で最も代表的な光学ローパスフィルタとして、水晶の単結晶の平行平板より成る光学ローパスフィルタがある。一般に入射面の法線と結晶の光学軸（Z軸）を所定角度だけ傾けて配置すると、一軸性結晶である水晶の平行平板に入射した光線は、Z軸の方向に異方性を示し常光線と異常光線に分離して、分離した光線が平行に平行平板から射出する。このとき常光線と異常光線の分離巾は、平行平板の入射面の法線と結晶のZ軸のなす角及び平行平板の厚さによって決定される。

## 【 0 0 0 4 】

このような水晶の光学作用を利用した光学ローパスフィルタが、例えば実公昭47-18688号公報、実公昭47-18689号公報、特開昭59-75222号公報、特開昭60-164719号公報等で提案されている。

## 【 0 0 0 5 】

実公昭47-18688号公報、実公昭47-18689号公報では、カラーフィルタとしてストライプ状のフィルタを想定し、被写体の空間周波数がこのカラーフィルタと同期性を持ったときに発生する偽色信号を低減させるため、水晶等の複屈折性を有する平行平板によって光線を常光線と異常光線に分離して撮像面上に結像させる構成を開示している。特に実公昭47-18689号公報においては、水晶の単結晶をその光学軸（Z軸）が平行平板の入出射面に対して略45°の角度をなすように切り出して使用する構成を開示している。

## 【 0 0 0 6 】

また、特開昭59-75222号公報、特開昭60-164719号公報においては、カラーフィルタとして例えば図4に示すようなベイヤー配列のフィルタを想定し、複数枚の複屈折板を組み合わせることによって光線を常光線と異常光

線に分離して被写体像を所定ピッチだけずれた複数の像に分離させて結像させ、被写体の高周波数成分によって発生する偽解像信号や偽色信号の発生を効果的に低減させる構成を開示している。

## 【0007】

また、複屈折板として水晶以外の単結晶板を使用する例が、特開平9-211222号公報、特開平11-218612号公報等を開示されている。特開平9-211222号公報、特開平11-218612号公報では、複数枚の複屈折板を使用し、その中の少なくとも1枚にニオブ酸リチウムを用いた光学ローパスフィルタを提案している。ニオブ酸リチウムの単結晶は水晶の単結晶と同様に一軸性の結晶であるが、常光線の屈折率と異常光線の屈折率の差が水晶よりも大きいため、所定の光線の分離巾を得るために必要な複屈折板の厚さを薄くすることができるという特徴がある。

## 【0008】

## 【発明が解決しようとしている課題】

水晶の複屈折板を1枚または複数枚組合せて光学ローパスフィルタとして使用する従来例では、常光線と異常光線の屈折率差が小さいため、光線の分離巾を所定量確保するためには、複屈折板の厚さをある程度以上厚くする必要があった。

## 【0009】

一般に、一軸性結晶の平行平板をその入射面の法線と光学軸（Z軸）のなす角が $\theta$ となるように作成したとき、円偏光の光が垂直に入射する場合、平行平板中の常光線の進行方向と異常光線の進行方向のなす角 $\phi$ は、次式によって表わされる。

## 【0010】

$$\tan \phi = (n_o^2 - n_e^2) \sin \theta \cos \theta / (n_e^2 \cos^2 \theta + n_o^2 \sin^2 \theta) \cdots (a)$$

a式は、複屈折板の単位厚さあたりの常光線と異常光線の分離巾を表わしており、 $\theta = 45^\circ$  のときこの値は最大となる。

## 【0011】

水晶の単結晶では、D線に対して、常光線の屈折率 $n_o = 1.544$ 、異常光

線の屈折率  $n_e = 1.533$ 、とすれば、 $\theta = 45^\circ$  のとき  $\tan \phi \doteq -0.0058$  となる。したがって、例えば固体撮像素子の長辺方向の画素ピッチ  $P_h$  が  $10 \mu\text{m}$  であったとして、この方向に発生する偽解像信号を除去するために水晶の複屈折板によって異常光線をこの方向に  $10 \mu\text{m}$  ずらすように構成するとき、水晶の複屈折板の厚さ  $d$  は、少なくとも約  $1.7 \text{mm}$  とすることが必要となる。このように、常光線と異常光線の屈折率の差が小さい水晶を複屈折板として用いると光学ローパスフィルタが厚くなり、スペース上の問題が発生する。

## 【0012】

更に、撮影光学系の光路中に平行平板が存在する場合には、スペース的な問題の他にも以下に説明するような問題も含んでいる。

## 【0013】

理想レンズによって結像され平行平板を通過する光線は、平行平板への入射角  $\alpha$  に応じて周知のスネルの屈折則に従った屈折角で屈折して入射光線と平行に射出する。理想レンズの予定焦点面は、平行平板中の光路長を  $\sin \alpha \doteq \alpha$  の近似を使用する近軸理論によって決定され、平行平板の板厚  $d$  と屈折率  $N$  を用いて表わされる空気換算光路長  $d/N$  によって置換した分だけ光軸方向にずらした位置に設定される。しかしながら、平行平板へ入射する光線の入射角が大きくなって  $\sin \alpha \doteq \alpha$  とする近似が実状と合わなくなると、理想レンズから射出する光線は予定結像面上では結像しなくなる。具体的には、光軸上では球面収差がオーバーとなり、軸外ではサジタル像面に対してメリディオナル像面がよりオーバーとなる非点収差が発生する。

## 【0014】

図9はこのような現象を説明するための説明図であり、理想像面から  $50 \text{mm}$  離れた位置に  $F2.0$  の射出瞳を持つ理想レンズを配置し、理想像面との間に光軸と垂直な入出射面を持った厚さ  $5 \text{mm}$  の平行平板より成る水晶の複屈折板を配置した場合の複屈折板で発生する光線収差を示した図である。図9 (a)

において、41は焦点距離  $50 \text{mm}$  の理想レンズ、42は厚さ  $5 \text{mm}$  の水晶の複屈折板、43は近軸計算上の予定焦点面である。また、44は像高  $0 \text{mm}$  の像面近傍、45は像高  $20 \text{mm}$  の像面近傍を表わしている。



## 【0015】

理想レンズ41によって結像され平行平板42を通過した光線は、図9(a)に示されるように予定焦点面43の近傍に結像するべく進行する。しかしながらその像面近傍44及び45を拡大すると、それぞれ図9(b)及び図9(c)に示されるようになる。すなわち像高0mmにおける最良像面位置は46、像高20mmにおける最良像面位置は47に示される位置となっており、画面中央では球面収差がオーバーとなり、また画面周辺では特にメリディオナル像面でオーバーとなる非点収差が発生する。

## 【0016】

このように、撮影光学系とその予定焦点面の間に平行平板を挿入すると、上述したような光線収差が発生するという性質がある。そこで、水晶の複屈折板等の平行平板を配置することを前提とした撮影光学系では、この平行平板で発生する収差を加味した上で撮影光学系を設計することが一般に行われている。しかしながら、撮影光学系として種々の交換レンズ、特に銀塩カメラ用に完備された交換レンズシステムを撮影光学系として活用できるように、撮影光学系を交換可能に構成した撮像装置（例えば一眼レフレックスタイプのデジタルスチルカメラ等）においては、もちろんこのような対応はできない。

## 【0017】

ところで、水晶と同様の一軸性結晶であるニオブ酸リチウムの単結晶において、d線に対する常光線の屈折率 $n_o = 2.300$ 、異常光線の屈折率 $n_e = 2.215$ とすれば、 $\theta = 45^\circ$  のとき  $\tan \phi \approx 0.0376$  となる。

## 【0018】

ここで、水晶の場合と同様、固体撮像素子の長辺方向の画素ピッチPhが10 $\mu\text{m}$ であるとして、この方向に発生する偽解像信号を除去するためにニオブ酸リチウムの複屈折板によって異常光線をこの方向に10 $\mu\text{m}$ ずらすように構成することを想定すると、ニオブ酸リチウム単結晶は  $\tan \phi \approx 0.0376$  であるから、複屈折板の厚さdは約0.27mmで良いことが分かる。前述の水晶の単結晶を用いた場合と比較すれば、複屈折板の厚さを約0.16倍に薄くすることができ、ニオブ酸リチウムの複屈折板を光学ローパスフィルタとして撮像系に適用

すれば、スペース上の問題を解決してより小型の撮像素子を実現すると共に、平行平板によって発生する光線収差の問題を低減させることも可能となる。

#### 【 0 0 1 9 】

前述の特開平 9 - 2 1 1 2 2 2 号公報、特開平 1 1 - 2 1 8 6 1 2 号公報は、ニオブ酸リチウムの単結晶のこのような性質に着目したものである。

#### 【 0 0 2 0 】

ここで、画素ピッチ  $10\mu$ 、アスペクト比が 2 : 3 で、250 万画素程度の有効画素数を持った 2 次元固体撮像素子を用いる撮像装置を想定すると、水平方向の画素数は 1950 画素程度、垂直方向の画素数は 1300 画素程度となり、固体撮像素子の有効画素の占める大きさは、水平方向で 19.5 mm 程度、垂直方向で 13.0 mm 程度となる。このような固体撮像素子の前方（被写体側）に平行平板より成る光学ローパスフィルタを比較的近接させて配置することを考えると、平行平板の大きさは、固体撮像素子に入射する光線の立体角を考慮した光線有効領域とこの平行平板そのものの保持のための領域を加算して、少なくとも水平方向に 21.0 mm 程度、垂直方向に 14.5 mm 程度とすることが必要となる。

#### 【 0 0 2 1 】

一方、水平方向に画素ピッチ  $10\mu$  だけ異常光線を分離させたい場合に、ニオブ酸リチウムの単結晶の光学軸（Z 軸）と平行平板の入射面の法線のなす角  $\theta$  が  $45^\circ$  となるように構成すると、前述したように平行平板の厚さは約 0.27 mm となる。また、実公昭 47 - 18688 号公報に開示されるように、画素ピッチの  $1/2$  の周波数成分による偽信号の影響を除去することを考慮して画面の水平線に対して約  $45^\circ$  の角度をなす方向に異常光線を分離させる平行平板を併用しようとする、この平行平板の厚さは約 0.19 mm となる。このような平行平板の厚さは、上述の外形寸法で決定される対角長と比較すると、およそ 1 % 程度かそれ以下となって機械強度が不足してくるために非常に割れやすくなる。

#### 【 0 0 2 2 】

前述の特開平 9 - 2 1 1 2 2 2 号公報、特開平 1 1 - 2 1 8 6 1 2 号公報では、ニオブ酸リチウムと水晶を接合した光学ローパスフィルタの構成を提案してい

る。これらの従来例は、全てを水晶で構成した光学ローパスフィルタに比べて薄くすることが可能であるが、上述のスペース上の問題と撮影光学系の光学性能上の問題の解決には、未だ不十分であった。

#### 【0023】

本発明は、固体撮像素子の周期的なサンプリングに基づく偽の信号の発生を低減するために好適な光学ローパスフィルタ及びそれを用いた光学機器を提案することを目的とするものであり、特に、銀塩フィルムを使用する一眼レフレックスカメラに装着するものとして用意された種々の交換レンズを有効に活用できる一眼レフレックスタイプのデジタルカメラを構成する際に好適なものである。

#### 【0024】

本発明の目的の1つは一眼レフレックスタイプのデジタルカメラの本体内に具備できるように十分に薄い構成とすること、そして、交換レンズの持つ解像力を必要以上に低下させることのないこと、また、撮影系中に用いたときゴーストやフレアーの原因とならない光学ローパスフィルタを得ることにある。

#### 【0025】

銀塩フィルムを使用する一眼レフレックスカメラの交換レンズは、最も像側のレンズ面から焦点面までの距離（バックフォーカス）を十分に長く維持し、パララックスのないTTLファインダーを実現するための回動ミラーのためのスペースやフオーカルプレーンシャッターのためのスペースを確保するべく設計されている。

#### 【0026】

銀塩フィルムの代わりに固体撮像素子を使用する一眼レフタイプのデジタルカメラを実現するためには銀塩フィルムの位置と透過な位置に固体撮像素子の撮像面を配置すれば良いのであるが、前述の第1の従来例に開示されるように水晶の複屈折板を複数枚使用する光学ローパスフィルタをカメラ内に配置しようとする、回動ミラーやフオーカルプレーンシャッターと干渉してしまうという問題が発生する。

#### 【0027】

一方、銀塩フィルムを使用する一眼レフレックスカメラの交換レンズでは、最

も像側のレンズ面から焦点面までの間には、反射する部材が存在することは想定されていないのが一般的である。即ち、撮影光学系とその焦点面の間に可視波長域に対して所定以上の反射率を持った光学部材が配置されると面反射ゴーストやフレアスポットといった被写体像のコントラストを低下させる有害光の発生原因となり易いという問題がある。そこで光学ローパスフィルタの可視波長域の反射率は十分に低いものとする必要があるとなる。

## 【 0 0 2 8 】

本発明の他の目的は、これらの緒問題を克服して、主として銀塩カメラ用に用意された交換レンズを使用する一眼レフデジタルカメラに具備するのに好適となる光学ローパスフィルタを実現することにある。

## 【 0 0 2 9 】

## 【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明の光学ローパスフィルタは複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を該複数枚の複屈折板の光学軸が互いに異なる方向を向くように組み合わせて接合して平行平板状に構成したことを特徴としている。

## 【 0 0 3 0 】

請求項 2 の発明は請求項 1 の発明において前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板のうち少なくとも 2 つはそれらの光学軸の平行平板の入射面又は射光面への正射影が互いに 4 5 度の角度をなすように設定されていることを特徴としている。

## 【 0 0 3 1 】

請求項 3 の発明は請求項 1 又は 2 の発明において前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を互いに接合する際、該複屈折板の表面には、接着剤と複屈折板の界面における可視波長域の光線の反射防止作用を有する誘電体薄膜を付加したことを特徴としている。

## 【 0 0 3 2 】

請求項 4 の発明は請求項 1、2 又は 3 の発明において前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を  $\theta_0$  とするとき、少なくとも 1 枚の複屈折板においては、

$$10^{\circ} < \theta_0 < 27^{\circ}$$

$$61^{\circ} < \theta_0 < 80^{\circ}$$

のいずれかの条件式を満足することを特徴としている。

#### 【0033】

請求項5の発明の光学ローパスフィルタは3枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を接合して平行平板状に構成した光学ローパスフィルタであって、該3枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折版は、その光学軸の該平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影が、互いに45度の角度をなすように設定されていることを特徴としている。

#### 【0034】

請求項6の発明は請求項5の発明において前記3枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を出入射側より順に第1、第2、第3の複屈折板とし、該第1の複屈折板、第2の複屈折板、第3の複屈折板の各々の射出面における常光線と異常光線の分離幅を各々D1、D2、D3とすると、

$$D1 \div D3 > D2$$

の条件式を満足することを特徴としている。

#### 【0035】

請求項7の発明は請求項5又は6の発明において前記第2の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を $\theta_2$ とすると、

$$10^{\circ} < \theta_2 < 27^{\circ}$$

$$61^{\circ} < \theta_2 < 80^{\circ}$$

のいずれかの条件式を満足することを特徴としている。

#### 【0036】

請求項8の発明の光学機器は請求項1から7のいずれか1項の光学ローパスフィルタを用いていることを特徴としている。

#### 【0037】

請求項9の発明の光学機器は光学ローパスフィルタを介して撮影素子に画像を形成する光学機器であって、該光学ローパスフィルタは、複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を接合した平行平板状より成り、該複数枚のニオブ酸リチ

ウム単結晶の複屈折板光学軸の前記平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影は互いに略  $45^\circ$  の角度をなすように構成され、そのうちの少なくとも1つの正射影は該撮影素子の長辺方向と略  $45^\circ$  の角度をなすように構成したことを特徴としている。

## 【 0 0 3 8 】

請求項 1 0 の発明の光学機器は光学ローパスフィルタを介して撮影素子に画像を形成する光学機器であって、該光学ローパスフィルタは、3枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を接合して平行平板状より成り、該ニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板は、その光学軸の該平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影が、該撮像素子の長辺方向と略  $45^\circ$  の角度をなす第 1 の複屈折板と、該第 1 の複屈折板の正射影と略  $45^\circ$  の角度をなす第 2 の複屈折板と、該第 1 の複屈折板の正射影と略  $90^\circ$  の角度をなす第 3 の複屈折板とをこの順に組み合わせて構成したことを特徴としている。

## 【 0 0 3 9 】

請求項 1 1 の発明は、請求項 1 0 の発明において前記第 1 の複屈折板、第 2 の複屈折板、第 3 の複屈折板の各々の射出面における常光線と異常光線の分離幅を各々  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  とするとき、

$$D_1 \div D_3 > D_2$$

の条件式を満足するように構成したことを特徴としている。

## 【 0 0 4 0 】

請求項 1 2 の発明は請求項 1 0 又は 1 1 の発明において前記第 2 の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を  $\theta_2$  とするとき、

$$10^\circ < \theta_2 < 27^\circ$$

$$61^\circ < \theta_2 < 80^\circ$$

のいずれかの条件式を満足することを特徴としている。

## 【 0 0 4 1 】

請求項 1 3 の発明は請求項 9 から 1 2 のいずれか 1 項の発明において前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、ある

いは射出面の法線とのなす角を $\theta_0$ とすると、少なくとも1枚の複屈折板においては、

$$10^\circ < \theta_0 < 27^\circ$$

$$61^\circ < \theta_0 < 80^\circ$$

を特徴としている。

【0042】

【発明の実施の形態】

本発明の光学ローパスフィルタは、撮影光学系1と撮像素子3との間の光路中に配置され、複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を該複屈折板の光学軸が互いに異なる方向を向くように組み合わせて接合して平行平板状に構成している。

【0043】

本発明ではこのように、光学ローパスフィルタの被写体像の所定方向への分離作用を持つ複屈折板の各々をすべてニオブ酸リチウムの単結晶より構成することによって、加工可能な範囲内で十分に薄い平行平板とし、一眼レフデジタルカメラの本体内に具備することを可能とし、かつ銀塩カメラ用に用意された交換レンズの光学性能を損ねることなく使用可能としている。

【0044】

また、本発明の光学ローパスフィルタはさらに、撮影素子を有した光学機器に適用したときは前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の光学軸の前記平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影は互いに略 $45^\circ$ の角度をなすように構成され、そのうちの少なくとも1つの正射影は撮像素子の長辺方向と略 $45^\circ$ の角度をなすように構成している。

【0045】

CCD等の固体撮像素子は、個々の画素が、水平方向、及び垂直方向に2次元に規則的配列されているのが一般的となっており、そのためにサンプリングに伴って発生する偽の信号はこの配列方向に顕著に現れる。同時に個々の画素の水平方向のピッチと垂直方向のピッチが略等しい場合には、この2方向に対して略 $45^\circ$ の角度をなす方向にも明らかな画素の周期性が見られ、この方向に対して

も所定の周波数の解像力を低下させることが必要となる。

【0046】

もちろん個々の画素の水平、及び垂直方向のピッチが大きく異なる特殊な場合には斜め方向の周期性の発生する角度は異なるものとなる。そこで一般的な固体撮像素子を使用する際に撮影画面内の各方向に周期性を持った被写体が存在するときに発生する偽の信号を効率的に低減させるために、光学ローパスフィルタの構成を上記のようにしている。

【0047】

また、このような構成とすると、1枚の複屈折板によって分離される常光線と異常光線の強度の比が1：1となり、複屈折板を複数枚重ねて使用する時の光学ローパスフィルタとしての効果が全画面で均一となり好ましいものを実現し易くなる。

【0048】

そしてこのような一般的な固体撮像素子を使用することを想定し、本発明の光学ローパスフィルタは、3枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を接合して平行平板状に構成している。そして光学機器に適用したときは、撮影光学系と撮像素子の間の光路中に配置され、前記ニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板は、その光学軸の前記平行平板の入射面、あるいは射出面への正射影が、前記撮像素子の長辺方向と略45°の角度をなす第1の複屈折板と、該第1の複屈折板の正射影と略45°の角度をなす第2の複屈折板と、前記第1の複屈折板の正射影と略90°の角度をなす第3の複屈折板とをこの順に組み合わせて構成している。

【0049】

また、本発明では、前記第1の複屈折板、第2の複屈折板、第3の複屈折板の各々の射出面における常光線と異常光線の分離幅を各々D1、D2、D3とするとき、以下の条件式(1)を満足するように構成して薄型の光学ローパスフィルタを実現し、信号処理上のローパスフィルタと併せて偽の信号を低減させる撮像装置を構成している。

【0050】

$$D1 \div D3 > D2 \cdots \cdots (1)$$



条件式（１）は、撮像素子の長辺方向に対して $45^\circ$ をなす２つの方向の被写体像の分離幅を略等しくしつつ、（ $\pm 20\%$ の範囲内）長辺方向の分離幅に対して大きく設定する構成を開示する条件式である。前述したように、図４に示されるような一般的なカラーフィルタの配列を持った単板式の固体撮像素子においては、撮像素子の長辺方向、及び短辺方向では、その画素ピッチに相当する空間周波数において顕著な偽の輝度信号、及び色信号が発生し、斜め方向では、その画素ピッチの

【 0 0 5 1 】

【数 1】

$$1/\sqrt{2}$$

【 0 0 5 2 】

に相当する空間周波数において顕著な偽の色信号が発生する。

【 0 0 5 3 】

条件式（１）を満足する構成の光学ローパスフィルタでは、これらの偽の信号のうち、斜め方向に発生する偽の色信号を低減させるべく構成するものであって、撮像素子の水平方向、及び垂直方向の特定の空間周波数において発生する偽の色信号については信号処理上のローパスフィルタによって低減することを想定したものである。この際、撮像素子の長辺方向、及び短辺方向の特定の空間周波数において発生する偽の輝度信号については低減することはやや困難となるものの、撮影光学系の解像力性能を十分に引き出した被写体像の撮影が可能となる。このとき、撮像素子の長辺方向に常光線と異常光線を分離させる第２の複屈折板は、実質的にはこの複屈折板から射出する光線の位相を回転させる位相板として作用するものであって、第３の複屈折板による常光線と異常光線の分離を実現させるものとして作用する。

【 0 0 5 4 】

なお、このとき、第１の複屈折板、及び第３の複屈折板による常光線と異常光線の分離幅 $D1$ 、及び $D3$ は、画素ピッチを $P$ とするとき、

【 0 0 5 5 】

【数 2】

$$D1 \div D3 \div P / \sqrt{2}$$

【0 0 5 6】

とすることが望ましく、第 2 の複屈折板による常光線と異常光線の分離幅 D 2 は

$$D 2 \leq P / 2$$

とすることが望ましい。尚ここで略等しいとは ± 2 0 % 以内のことを意味する。

【0 0 5 7】

ただし、現実には分離幅 D 1、及び D 3 は撮影画像の解像力の低下と偽信号の低減効果の相対比較から上記の

【0 0 5 8】

【数 3】

$$P / \sqrt{2}$$

【0 0 5 9】

よりやや少なくするのが一般的であり、また D 2 は機械加工の難易度等を考えて設定すべきと考えられる。

【0 0 6 0】

また前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を互いに接合する際、該複屈折板の表面には、接着剤と複屈折板の界面における可視波長域の光線の反射防止作用を有する誘電体薄膜を付加すると、ゴーストやフレアーの発生を低減させるという点で良好な実施形態を実現することができる。

【0 0 6 1】

ニオブ酸リチウム単結晶の常光線の d 線に対する屈折率は、 $n_o = 2.300$  程度と水晶や光学ガラスと比べて高くなっており、そのために界面における反射率も高い傾向にある。例えば、屈折率 1.6 程度の光学ガラスでは空気との界面の反射率は約 5.3 % であり、また屈折率が 1.5 程度の接着剤との界面の反射率は約 1.0 % となる。これに対してニオブ酸リチウム単結晶では、空気との界面の反射率は約 15.5 %、屈折率が 1.5 程度の接着剤との界面の反射率は約

4. 4 %となる。

【0062】

このようにニオブ酸リチウム単結晶では可視波長域の光線の反射率が高いため、誘電体薄膜等による反射防止膜を付加せずに光路中に配置すると、ゴーストやフレアーを発生させて撮影画像のコントラストを低下させることになるので、少なくともその空気との界面に反射防止のための処理をすることが良い。

【0063】

さらにニオブ酸リチウム単結晶同士を接合する場合にも、接着剤の屈折率をニオブ酸リチウム単結晶と同程度とすれば、接着剤との界面での反射率を低くすることができるわけだが、このように高い屈折率で透明な良好な接着剤は存在しないのが実状である。

【0064】

そこでニオブ酸リチウム単結晶を使用する光学ローパスフィルタにおいては、その良好な実施形態としては、複数の複屈折板を接合する際に接着剤との界面に反射防止膜を付加することが良い。この場合の反射防止膜は、ニオブ酸リチウム単結晶の屈折率と接着剤の屈折率の中間的な屈折率を持った誘電体をその光学的膜厚が可視の中心波長の  $1/4$  とすれば良いし、また適切な屈折率の誘電体薄膜材料がない場合には、個々の光学的膜厚を適切に設定した多層の反射防止膜を付加することが良い。

【0065】

又、本発明の光学ローパスフィルタでは前記複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の光学軸と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を  $\theta_0$  とするとき、少なくとも1枚の複屈折板においては、

$$10^\circ < \theta_0 < 27^\circ \dots\dots (2)$$

$$61^\circ < \theta_0 < 80^\circ \dots\dots (3)$$

のいずれかの条件式を満足することが良い。

【0066】

これによれば、

また本発明の光学ローパスフィルタではさらに、前記第2の複屈折板の光学軸

と前記平行平板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角を $\theta 2$ とするとき、以下のいずれかの条件式(45)を満足するように構成するのが良い。

## 【0067】

$$10^{\circ} < \theta 2 < 27^{\circ} \dots\dots\dots (4)$$

$$61^{\circ} < \theta 2 < 80^{\circ} \dots\dots\dots (5)$$

条件式(2)、(3)及び条件式(4)、(5)は、ニオブ酸リチウムの複屈折板が薄く製造し難いものとならないようにするための構成の特徴を数値化したものであり、一軸性単結晶のZ軸と複屈折板の入射面、あるいは射出面の法線とのなす角 $\theta 0$ 、又は $\theta 2$ の適切な設定範囲を表わす式である。条件式(2)、(4)、または(3)、(5)で特定される範囲は、複屈折板の単位厚さあたりの常光線と異常光線の分離巾を表わす前述の式(6)の関係を示した図8斜線部で表される領域であり、条件式(2)、(4)または(3)、(5)を満足するような角度に設定すると、 $\theta 0$ 又は $\theta 2 = 45^{\circ}$ に設定したときと比べて複屈折板を1.2倍から3倍厚くすることができる。

## 【0068】

条件式(2)、(4)の上限値を超えるか、あるいは条件式(3)、(5)の下限値を超えて $\theta 2$ の値が $45^{\circ}$ に近づくと、 $\theta 0$ 又は、 $\theta 2 = 45^{\circ}$ に設定したもののとの実質的な差が小さくなり、複屈折板が薄くなって機械強度が不足してしまう。逆に、条件式(2)、(4)の下限値を超えて $\theta 0$ 、 $\theta 2$ の値が $0^{\circ}$ に近づくと、あるいは条件式(3)、(5)の上限値を超えて $\theta 0$ 又は、 $\theta 2$ の値が $180^{\circ}$ に近づくと、単結晶のZ軸と平行平板の入射面の法線とのなす角の変化に対する光線の分離巾の変化が大きくなって、所望の分離巾を得ることのできる複屈折板としての平行平板の安定的な加工が困難となる。尚、図8はニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の厚さに対する常光線と異常光線の分離幅の関係を示している。

## 【0069】

本発明の条件式(2)、(4)、または(3)、(5)で規定する範囲は、図8の斜線部の範囲であって、これらの条件式を満足するように構成したとき、複屈折板の入出射面の法線と単結晶の光学軸のなす角を $45^{\circ}$ とした場合と比べて

複屈折板の厚さを十分に厚く設定できるようになる。

【0070】

$\theta 0$  又は、 $\theta 2$  の値が条件式 (2)、(4)、または (3)、(5) で規定した範囲を満足する角度になるよう、ニオブ酸リチウムで平行平板を形成したときには、例えば  $\theta 2 = 70^\circ$  となるように設定したときには、この平行平板による常光線と異常光線の分離巾は、平行平板 1 mm あたり 0.0235 mm となる。したがって、 $10 \mu\text{m}$  の分離巾を得るために必要な平行平板の厚さは約 0.43 mm となる。これは  $\theta 2 = 45^\circ$  の場合と比較して約 1.6 倍厚くなることになり、機械強度上、そして機械加工上の問題点を解決することが可能となる。また  $\theta 2 = 45^\circ$  の水晶を用いた場合と比較しても、平行平板の厚さは約 0.25 倍で十分に薄くなっているので、光学ローパスフィルタを光路中に挿入したことによる光学性能への悪影響を最小限に抑えることができる。

【0071】

第 2 の複屈折板は上述したように条件式 (1) を満足するように、第 1 の複屈折板、及び第 3 の複屈折板に対してその分離幅を小さくし、実質的に位相板として作用するものであるため、製造可能な厚さであって、偏光方向を変換する作用をもつものであれば良い。

【0072】

また本発明の光学ローパスフィルタは、ニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を複数枚接合して構成するものだが、複屈折板の各々の Z 軸の入射面への正射影が互いに異なる方向に向くように接合すると次のような強度上の効果もある。

【0073】

ニオブ酸リチウム等の単結晶より成る平行平板は、その単結晶の性質から所定方向にへき開を起こしやすいという欠点がある。そこで本発明のように単結晶の Z 軸の入射面への正射影が互いに異なる方向に向くように複数枚の複屈折板を接合すれば、割れ難くなり取り扱いが容易となる。

【0074】

このように、CCM、MOS 等の 2 次元の固体撮像素子を使用する撮像装置において、被写体像の高周波数成分による偽解像信号や偽色信号を低減させる目的

で撮像光学系と固体撮像素子の間に配置する光学ローパスフィルタを、適切な厚さを持ったニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板を互いに接合して構成することによって好適な光学ローパスフィルタを実現し、特に、銀塩カメラ用の交換レンズシステムをそのまま良好に利用することのできる一眼レフレックス方式のデジタルスチルカメラを実現している。

## 【 0 0 7 5 】

次に本発明の光学ローパスフィルタを適用した撮影装置の具体的な実施形態について説明する。

図 1 は本発明の光学ローパスフィルタを有した光学機器の実施形態第 1 の要部概略図である。

## 【 0 0 7 6 】

本実施形態は光学ローパスフィルタを一眼レフレックス方式のデジタルスチルカメラに搭載した例を示している。図 1 において、1 は交換可能に構成された撮影レンズ（撮影光学系）であり、銀塩カメラ用の交換レンズも利用できるようマウントが共通化されている。2 はニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板を複数、本実施形態では 3 枚（図示 2 1、2 2、2 3）接合した平行平板より構成した光学ローパスフィルタ、3 は固体撮像素子を示している。本実施形態のカメラでは、光学ローパスフィルタ 2 を固体撮像素子 3 の光入射側の直前に配置し、3 枚の複屈折板 2 1、2 2、2 3 の作用により被写体像を 8 つの像に分離して撮像している。

## 【 0 0 7 7 】

図 2 は図 1 に示した光学ローパスフィルタ 2 を構成するニオブ酸リチウムの単結晶の 3 つの複屈折板 2 1、2 2、2 3 の説明図である。本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 は、ニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板 2 1、2 2、2 3 を 3 枚貼り合わせて構成している。図 2 (a) は、光学ローパスフィルタ

2 を撮影レンズ 1 の光軸方向から見た図であって、Z 1 a、Z 2 a、Z 3 a は、それぞれ複屈折板 2 1、2 2、2 3 の光学軸（Z 軸）の平行平板の入射面又は出射面への正射影を表わしている。

## 【 0 0 7 8 】

図 2 (a) に示されるように、本実施形態では複屈折板 2 1 の Z 軸の正射影  $z_1$  a は光学ローパスフィルタ 2 の長辺と角度  $\phi_1$  をなす方向を向いており、複屈折板 2 2 の Z 軸の正射影  $z_2$  a は光学ローパスフィルタ 2 の長辺の方向を向いており（長辺に平行）、複屈折板 2 3 の Z 軸の正射影  $z_3$  a は光学ローパスフィルタ 2 の長辺と角度  $\phi_3$  をなす方向を向いている。なお本実施例では、 $\phi_1 = +45^\circ$ 、 $\phi_3 = -45^\circ$  としている。

## 【 0 0 7 9 】

光学ローパスフィルタ 2 の大きさは、撮像素子 3 の有効画素領域の大きさに加えて、撮影レンズ 1 から入射する光線の立体角と光学ローパスフィルタ 2 そのものの保持を考慮して決定されるが、本実施形態では、撮像素子 3 の有効画素領域より一回り大きくなっている。なお当然ではあるが、光学ローパスフィルタ 2 の長辺の方向は、撮像素子の長辺方向とほぼ一致するように配置されている。

## 【 0 0 8 0 】

本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 を、図 2 (a) の A 視方向から見た図を図 2 (b) に、その一部拡大図を図 2 (c) に示す。図 2 (b) 及び図 2 (c) において  $z_1$  は複屈折板 2 1 の Z 軸を表わしており、図 2 (c) に示されるように、複屈折板 2 1 の Z 軸  $z_1$  と光学ローパスフィルタ 2 の入出射面の法線 PL は、角度  $\theta_1$  をなすように構成されている。

## 【 0 0 8 1 】

本実施形態では  $\theta_1 = 45^\circ$  としている。また本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 を図 2 (a) の B 視方向から見た図を図 2 (d) に、その一部拡大図を図 2 (e) に示す。図 2 (d) 及び図 2 (e) において  $z_2$  は複屈折板 2 2 の Z 軸を表わしており、図 2 (e) に示されるように、複屈折板 2 2 の Z 軸  $z_2$  と光学ローパスフィルタ 2 の入出射面の法線 PL は角度  $\theta_2$  をなすように構成されている。本実施形態では  $\theta_2 = 65^\circ$  としている。

## 【 0 0 8 2 】

また本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 を図 2 (a) の C 視方向から見た図を図 2 (f) に、その一部拡大図を図 2 (g) に示す。図 2 (f) 及び図 2 (g) において  $z_3$  は複屈折板 2 3 の Z 軸を表わしており、図 2 (g) に示されるように

、複屈折板 2 3 の Z 軸  $z_3$  と光学ローパスフィルタ 2 の入出射面の法線 PL は角度  $\theta_3$  をなすように構成されている。本実施形態では  $\theta_3 = 45^\circ$  としている。更に複屈折板 2 1、2 2、2 3 のそれぞれの厚さ  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  については、複屈折板 2 1 は  $d_1 = 0.19$ 、複屈折板 2 2 は  $d_2 = 0.19$ 、複屈折板 2 3 は  $d_3 = 0.19$  とし、加工可能な範囲で十分に薄いものとしている。

## 【 0 0 8 3 】

本実施形態では複屈折板 2 1、2 2、及び 2 3 をこのように構成することによって、常光線に対して異常光線を各々水平に対して上斜め  $45^\circ$  方向に約  $7.2 \mu\text{m}$ 、水平方向（長辺方向）に約  $5.4 \mu\text{m}$ 、及び水平に対して下斜め  $45^\circ$  方向に約  $7.2 \mu\text{m}$  ずらして結像させ、合計で被写体像を 8 つに分離させている。第 3 図にこの被写体像の分離状況を示す。

## 【 0 0 8 4 】

図 3 では入射光束 L を第 1 複屈折板 2 1 で光束 L 1 と光束 L 1 1 に分離している。第 2 複屈折板 2 2 で、光束 L 1 を光束 L 1 と光束 L 1 2、光束 L 1 1 を光束 L 1 1 と光束 L 1 1 2 に分離している。

## 【 0 0 8 5 】

第 3 複屈折板 2 3 で光束 L 1 を光束 L 1 と光束 L 1 3、光束 L 2 を光束 L 1 2 と光束 L 1 2 3、光束 L 1 1 を光束 L 1 1 と光束 L 1 1 3、光束 L 1 1 2 を光束 L 1 1 2 と光束 L 1 1 2 3 に移動している。

## 【 0 0 8 6 】

これによって全体として 1 つの光束 L を 8 つの光束に分離している。

## 【 0 0 8 7 】

ところで、本実施形態で用いる撮像素子 3 は  $10 \mu\text{m}$  四方の正方形を 1 画素とし、2 次元に複数配列した形状の固体撮像素子であり、各画素の前方に前出の図 4 に示すような繰り返しパターンよりなるカラーフィルタの配列を備え、水平方向に 1950 画素、垂直方向に 1300 画素を使用するようにしている。これにより、有効画素数 250 万画素余りの 2 次元のカラー固体撮像素子を構成している。図 4 において、G は緑色光、B は青色光、R は赤色光をそれぞれ透過させるカラーフィルタである。



## 【 0 0 8 8 】

図 4 に示されるようなカラーフィルタを具備した正方形の画素を 2 次元に設けた固体撮像素子では、 $P$  を画素のサンプリングピッチ  $n$  を整数としたとき、画素の配列方向、即ち水平方向、及び垂直方向について、空間周波数  $n/p$  の被写体像においてモアレが発生し、空間周波数  $(2n-1)/2p$  の被写体像において偽色信号が発生することが周知となっている。また斜め  $45^\circ$  方向についても画素の周期性があるため、空間周波数

## 【 0 0 8 9 】

【数 4】

$$(2n-1)/(\sqrt{2}P)$$

## 【 0 0 9 0 】

の被写体像において偽色信号が発生することが周知となっている。そのためこれらの空間周波数における MTF 値を低く抑制するような何らかのローパスフィルタが必要となっている。

## 【 0 0 9 1 】

本実施形態の光学ローパスフィルタは、図 4 に示されるようなカラーフィルタの配列と、画素のサンプリングピッチ  $p$  に基づいて発生する偽解像信号や偽色信号を効率的に低減させるため、図 3 に示すように第 1 の複屈折板 2 1 によって水平方向に対して上斜め  $45^\circ$  方向に異常光線を略

## 【 0 0 9 2 】

【数 5】

$$p/\sqrt{2}$$

## 【 0 0 9 3 】

だけ分離させ、第 2 の複屈折板 2 2 によって水平方向に異常光線を  $p/2$  程度分離させ、さらに第 3 の複屈折板 2 3 によって水平方向に対して下斜め  $45^\circ$  方向に異常光線を略

## 【 0 0 9 4 】

【数 6】

$$p/\sqrt{2}$$

【0 0 9 5】

だけ分離させるように構成し、全体として被写体像を 8 つに分離させている。本実施形態においては、画素ピッチ  $10\ \mu\text{m}$  の撮像素子を想定しているため、第 1 の複屈折板 2 1 は水平方向に対して上斜め  $45^\circ$  方向に約  $7.2\ \mu\text{m}$ 、即ちこの方向の画素ピッチ

【0 0 9 6】

【数 7】

$$10 \times \sqrt{2}$$

【0 0 9 7】

の略半分の距離の像の分離を行なうことによって主として前述の偽色信号を低減させ、第 2 複屈折板 2 2 は水平方向に約  $5.2\ \mu\text{m}$ 、即ち画素ピッチ  $10\ \mu\text{m}$  の半分程度の距離の像の分離を行ないつつ、各々の点像の位相を回転させるように作用し、第 3 複屈折板 2 3 は水平方向に対して下斜め  $45^\circ$  方向に約  $7.2\ \mu\text{m}$ 、即ちこの方向の画素ピッチ

【0 0 9 8】

【数 8】

$$10 \times \sqrt{2}\ \mu\text{m}$$

【0 0 9 9】

の略半分の距離の像の分離を行なうことによって主として前述の偽色信号を低減させている。

【0 1 0 0】

本実施形態の光学ローパスフィルタでは、このように複屈折板 2 1、2 2、2 3 の 3 枚の複屈折板を用いることによって、画素ピッチ  $p$  によって決定され、撮影画面の水平方向に対して略  $45^\circ$  の角度を持って配列された高周波数成分を持

った被写体の撮影時に発生する偽色信号を低減させるべく、空間周波数

【0 1 0 1】

【数 9】

$$\sqrt{2} / p$$

【0 1 0 2】

以上の高い空間周波数の M T F 値を低く抑制するように構成している。なお、偽色信号は画素の配列方向、即ち水平方向と垂直方向に画素ピッチ  $p$  によって決定される空間周波数  $1 / p$  においてマゼンタ色の偽信号を発生させるが、これらの方向に発生する偽色信号を光学ローパスフィルタによって除去しようとする、高周波数成分のコントラストを低下させることが不可避となって撮影画像の解像力不足をいった弊害が露呈してくるため、本実施形態ではこれらの方向に発生する偽色信号については、撮影画像の色情報と空間周波数情報を用いて信号処理上のローパスフィルタを付加して偽信号の M T F 値のみが低くなるように処理することとしている。

【0 1 0 3】

本実施形態の光学ローパスフィルタの空間周波数特性を図 5 に示す。図 5

(a) は水平方向（撮像素子の長辺方向）、図 5 (b) は垂直方向（撮像素子の短辺方向）、図 5 (c) は斜め  $45^\circ$  方向を表わしている。

【0 1 0 4】

また本実施形態の光学ローパスフィルタでは、ローパスフィルタとしてだけではなく、固体撮像素子の分光感度を視感度と略々一致させるべく誘電体薄膜を付加して赤外カットフィルタとしての機能も併用している。

【0 1 0 5】

また、上述のようにニオブ酸リチウムではその常光線に対する屈折率が高いため、ニオブ酸リチウムの表面における反射率は、空気との界面ばかりでなく、一般的に用いられる接着剤との界面においてもかなり高いものとなっている。そこで、本実施形態においては、各複屈折板 2 1、2 2、2 3 を互いに接合する際、各々の複屈折板の接着面側に接着剤との界面における可視波長域の反射率を低減

させるべく、誘電体薄膜を付加した構成としている。

【0106】

図6 (a) に本実施形態の光学ローパスフィルタ全体の分光透過率特性を示す。このような分光透過率特性とするべく、本実施例の光学ローパスフィルタにおいては、各々の複屈折板と接着剤との界面に接着後の分光反射率特性が図6 (b) に示されるような誘電体薄膜による反射防止コーティングを付加している。

【0107】

本実施形態の反射防止コーティングは、光学的膜厚の薄い2層の誘電体を使用して図6 (b) のような特性を実現しているが、接着剤の屈折率と誘電体薄膜材料の屈折率を適切に選択すれば、もちろん光学的膜厚が反射防止の中心波長の $1/4$ となる通常の単層膜とすることもできる。

【0108】

なお、ここでは接着剤は、屈折率が1.56程度のUV硬化型の接着剤を想定している。図6 (c) に接着剤との界面に反射防止コーティングを付加しない場合のこの界面の接着後の分光反射率特性を示す。

【0109】

図6 (c) に示されるように可視波長域においてニオブ酸リチウムの複屈折板の接着面の1面あたりにつき4%程度の光が反射するような構成では、接着面が4面ある本実施形態の光学ローパスフィルタでは、図6 (a) に示されるように可視波長域の透過率が90%以上程度となる分光透過率特性を得ることはできない。

【0110】

以上説明したように本実施形態によれば、厚さが0.19mmという加工可能な範囲内で十分に薄い3枚の複屈折板をその光学軸が互いに異なる方位を向くように接合するとともに接合面を含む各界面に誘電体薄膜を付加することによって、撮影画像に悪影響を及ぼす偽信号を効果的に低減しつつ、視感度補正の機能を兼ね備え、かつゴーストやフレアーの原因となる有害な光線の発生を低減することができ、主として銀塩カメラ用に用意された交換レンズを使用する一眼レフデジタルカメラに具備するのに好適となる光学ローパスフィルタを実現している

## 【0 1 1 1】

図 7 は本発明の光学ローパスフィルタ 4 の実施形態への要部概略図である。

## 【0 1 1 2】

本発明の光学ローパスフィルタ 2 は実施形態 1 と同様、3 枚のニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板 1 2 1、1 2 2、1 2 3 より成っている。本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 は、図 1 2 2 に示した撮像素子と同様に撮影レンズ 1 と固体撮像素子 3 の間の光路中に配置して使用され、実施形態の光学ローパスフィルタ 2 と機能的には等価なものである。実施形態 1 の光学ローパスフィルタ 2 と異なる点を中心に以下に説明する。

## 【0 1 1 3】

図 7 (a) は、光学ローパスフィルタ 2 を撮影レンズ 1 の光軸方向から見た図であって、 $z 1 a$ 、 $z 2 a$ 、 $z 3 a$  は、それぞれ複屈折板 2 1、2 2、2 3 の光学軸 (Z 軸) の正射影を表わしている。図 7 (a) に示されるように、本実施形態では複屈折板 2 1 の Z 軸の平行平板の入射面又は出射面への正射影  $z 1 a$  は光学ローパスフィルタ 2 の長辺と角度  $\phi 1$  をなす方向を向いており、複屈折板 2 2 の Z 軸の正射影  $z 2 a$  は光学ローパスフィルタ 2 の長辺の方向を向いており (長辺に平行)、複屈折板 2 3 の Z 軸の正射影  $z 3 a$  は光学ローパスフィルタ 2 の長辺と角度  $\phi 3$  をなす方向を向いている。なお本実施形態では、 $\phi 1 = +45^\circ$ 、 $\phi 3 = -45^\circ$  としている。

## 【0 1 1 4】

本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 の大きさは、実施形態 1 の光学ローパスフィルタ 2 と同様に、撮像素子 3 の有効画素領域より一回り大きく構成されている。なお、やはり光学ローパスフィルタ 2 の長辺の方向は、撮像素子 3 の長辺方向とほぼ一致するように構成されている。

## 【0 1 1 5】

本実施例の光学ローパスフィルタ 2 を、図 7 (a) の A 視方向から見た図を図 7 (b) に、その一部拡大図を図 7 (c) に示す。図 7 (b) 及び図 7 (c) において  $z 1$  は複屈折板 2 1 の Z 軸を表わしており、図 7 (c) に示されるように、複

屈折板 2 1 の Z 軸  $z_1$  と光学ローパスフィルタ 2 の入出射面の法線は角度  $\theta_1$  をなすように構成されている。また本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 を図 7 (a) の B 視方向から見た図を図 7 (d) に、その一部拡大図を図 7 (e) に示す。図 7 (d) 及び図 7 (e) において  $z_2$  は複屈折板 2 2 の Z 軸を表わしており、図 7 (e) に示されるように、複屈折板 2 2 の Z 軸  $z_2$  と光学ローパスフィルタ 2 の入出射面の法線は角度  $\theta_2$  をなすように構成されている。また本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 を図 7 (a) の C 視方向から見た図を図 7 (f) に、その一部拡大図を図 7 (g) に示す。図 7 (f) 及び図 7 (g) において  $z_3$  は複屈折板 2 3 の Z 軸を表わしており、図 7 (g) に示されるように、複屈折板 2 3 の Z 軸  $z_3$  と光学ローパスフィルタ 2 の入出射面の法線は角度  $\theta_3$  をなすように構成されている。本実施形態は  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 45^\circ$  として各々の複屈折板の厚さが最小となるようにしている。本実施形態では、複屈折板 2 1 の厚さ  $d_1 = 0.19$ 、複屈折板 2 2 の厚さ  $d_2 = 0.14$ 、複屈折板 2 3 の厚さ  $d_3 = 0.19$  となっている。

#### 【 0 1 1 6 】

本実施形態の光学ローパスフィルタ 2 は、複屈折板 2 1、2 2、2 3 をこのように構成することによって、実施形態 1 と同様に、常光線に対して異常光線を各々水平に対して上斜め  $45^\circ$  方向に約  $7.2 \mu\text{m}$ 、水平方向（長辺方向）に約  $5.3 \mu\text{m}$ 、及び水平に対して下斜め  $45^\circ$  方向に約  $7.2 \mu\text{m}$  ずらして結像させ、合計で被写体像を 8 つに分離させている。

#### 【 0 1 1 7 】

本実施形態は、複屈折板を構成するニオブ酸リチウムを十分に薄く加工することが可能であるという想定の下における実施形態であるが、もちろん薄板の加工の難易度を考慮して各々の複屈折板の厚さをより厚く設定することも当然のことながら考えられる。例えば各々の複屈折板を低コストで高精度の薄板に加工するために複屈折板の板厚として  $0.25 \text{ mm}$  が必要だとすれば、各々の複屈折板の Z 軸と光学ローパスフィルタの入出射面の法線とのなす角  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  を各々およそ  $\theta_1 = \theta_3 = 64^\circ$ 、 $\theta_2 = 72^\circ$ 、あるいはおよそ  $\theta_1 = \theta_3 = 24^\circ$ 、 $\theta_2 = 17^\circ$  とすることによっても同様の光学ローパスフィルタを実現する

ことができる。

【0 1 1 8】

このように各々の複屈折板の光学軸の角度を適切に設定することによって加工の難易度に応じて複屈折板の厚さを制御することは可能となるが、いずれの場合においても水晶等を使用する従来の光学ローパスフィルタと比較して十分に薄いものとすることができる。特に画素ピッチの小さい撮像素子を使用する場合であって、複屈折板の加工が難しくなった場合には、本発明の条件式（４）、または（５）を満足するように複屈折板の光学軸の角度を適切に設定することによって複屈折板の厚さをやや厚めにすることが効果的となる。また、いずれの場合においても上述の本発明の実施形態１において説明したようにニオブ酸リチウムの複屈折板の表面に誘電体薄膜を付加して可視波長域の反射防止をすることはゴーストやフレアーを低減させるという点で有効である。

【0 1 1 9】

以上説明した本発明の各実施形態において、各々の複屈折板による常光線と異常光線の分離方向は必ずしも上述のものとしなければならないとは限らない。本発明の各実施形態のように光学ローパスフィルタとして斜め $45^{\circ}$ 方向に発生する偽色信号を低減させる目的であれば、例えば、第１の複屈折板のＺ軸の正射影を光学ローパスフィルタの長辺と角度 $+45^{\circ}$ をなす方向を向くようにし、第２の複屈折板のＺ軸の正射影を光学ローパスフィルタの長辺と角度 $+90^{\circ}$ をなす方向を向くようにし、第３の複屈折板のＺ軸の正射影を光学ローパスフィルタの長辺と角度 $+135^{\circ}$ をなす方向を向くように設定することも可能である。

【0 1 2 0】

なお、実施形態１、２等において、複数枚の複屈折板の各Ｚ軸を異なる方向に向けた上で貼り合わせているのは、前述のように高い周波数成分のＭＴＦ値を低減させる作用の他に、所定方向にへき開しやすいというニオブ酸リチウム単結晶の欠点を克服するという効果を得るためのものでもある。

【0 1 2 1】

以上説明したように本実施形態によれば、ＣＣＤ、ＭＯＳ等の２次元の固体撮像素子を使用する撮像装置において、被写体像の高周波数成分による偽解像信号

や偽色信号を低減させる目的で撮像光学系と個体撮像素子の間に配置する光学ローパスフィルタを、適切な厚さを持ったニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板を互いに接合して構成することによって好適な光学ローパスフィルタを実現でき、特に、銀塩カメラ用の交換レンズシステムをそのまま良好に利用することのできる一眼レフレックス方式のデジタルスチルカメラを実現することができる。

【 0 1 2 2 】

【発明の効果】

本発明によれば厚さが薄く、しかも良好なるローパス効果が効果的に得られ高い光学性能が容易に得られる。

【 0 1 2 3 】

光学ローパスフィルタ及びそれを用いた光学機器を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の光学ローパスフィルタを一眼レフレックスカメラに搭載した際の撮像系の実施形態 1 の概略断面図。

【図 2】本発明の光学ローパスフィルタの実施形態 1 の説明図。

【図 3】本発明の光学ローパスフィルタの実施形態 1 によって分離される被写体像の様子の説明図。

【図 4】本発明に用いられる撮像素子上に構成したカラーフィルタの配列の説明図。

【図 5】本発明の光学ローパスフィルタの空間周波数特性の説明図。

【図 6】本発明の光学ローパスフィルタの分光特性の説明図。

【図 7】本発明の光学ローパスフィルタの実施形態 2 の説明図。

【図 8】一軸性単結晶の光学軸と平行平板の入出射面の法線のなす角と、常光線と異常光線の分離中の関係の説明図。

【図 9】平行平板で発生する光線収差の説明図。

【符号の説明】

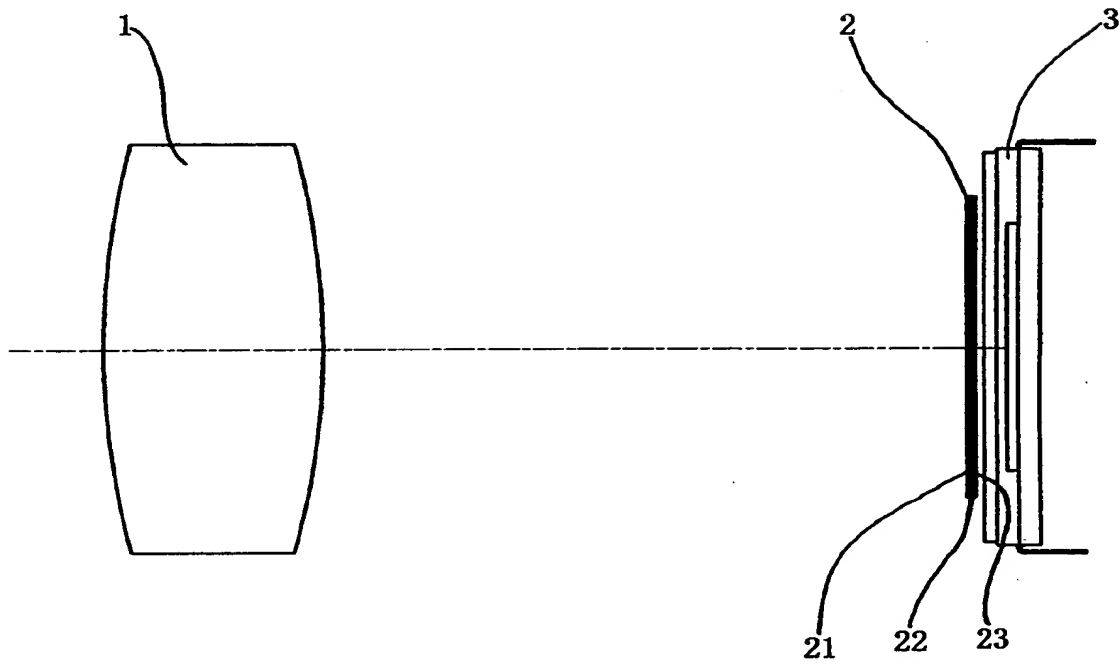
- 1、撮影レンズ
- 2、光学ローパスフィルタ
- 3、撮像素子



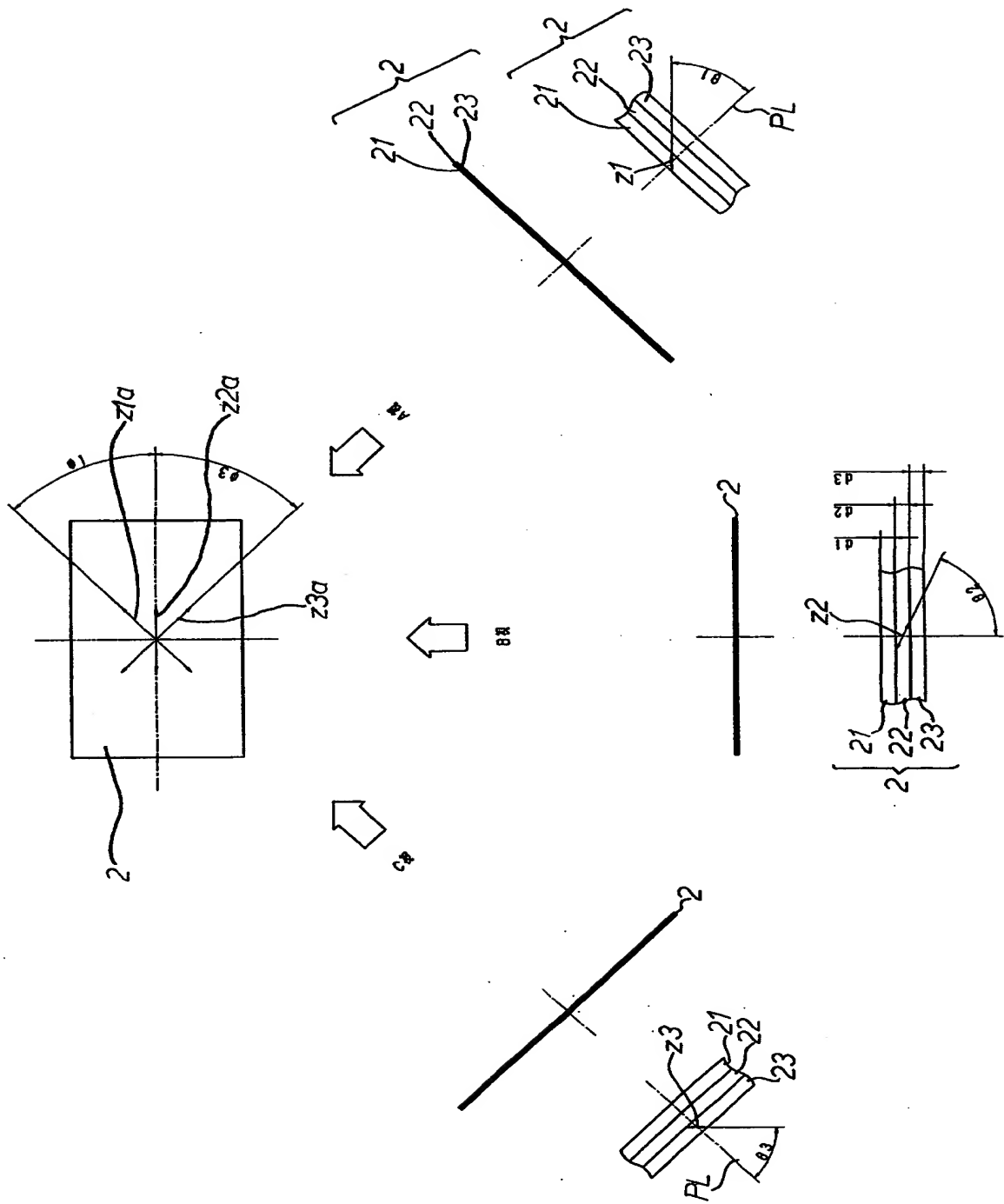
2 1、2 2、2 3、ニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板

【書類名】 図面

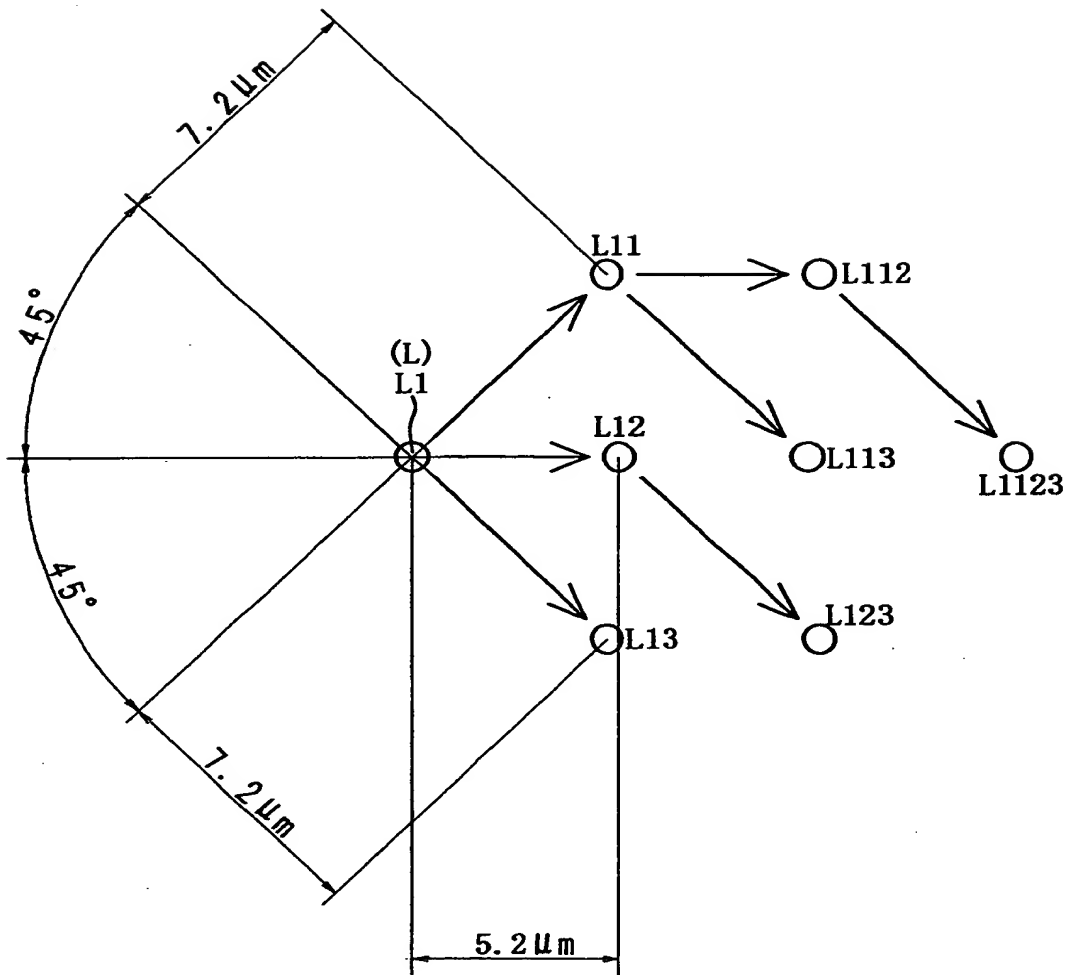
【図 1】



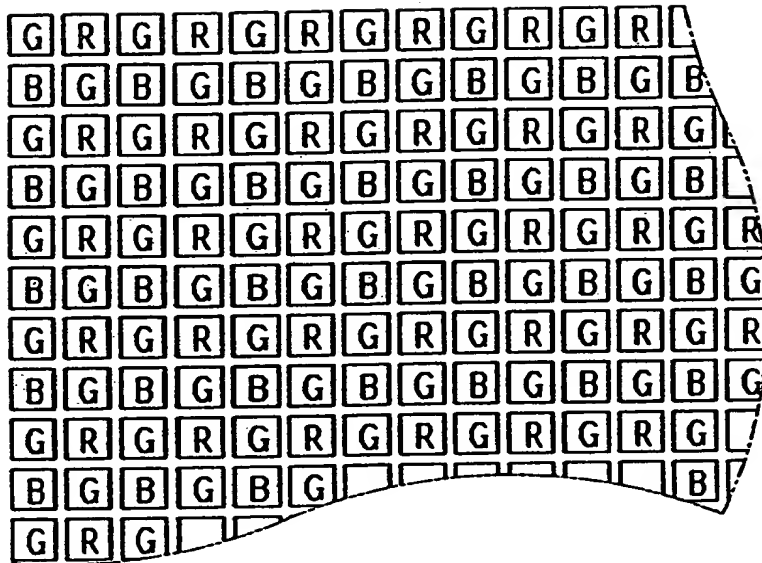
【図 2】



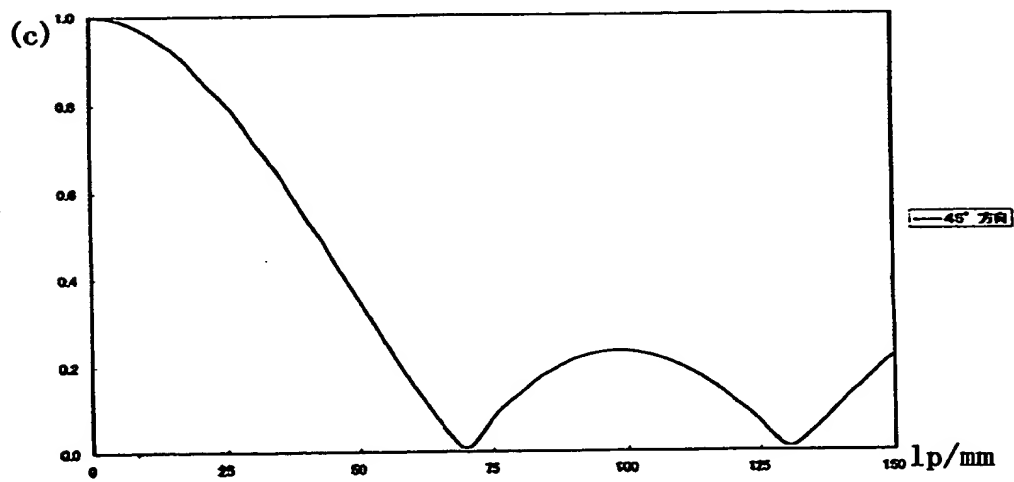
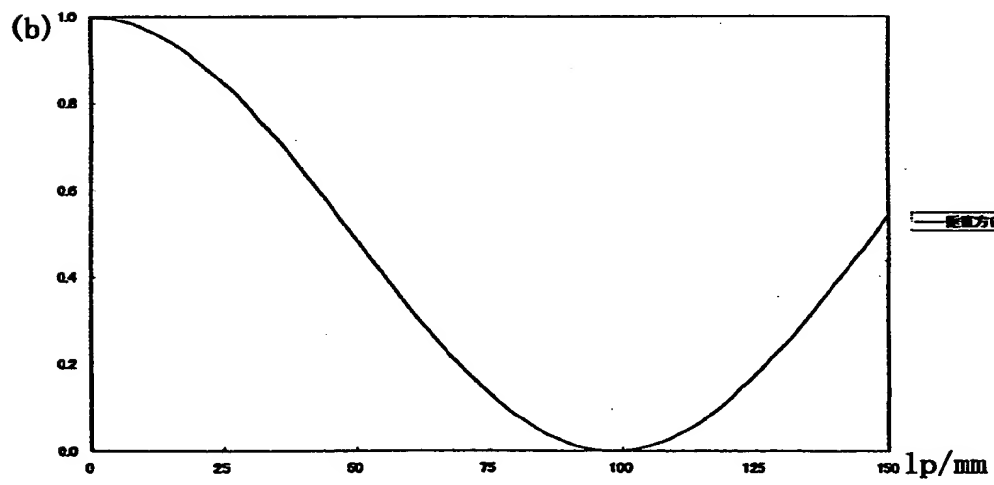
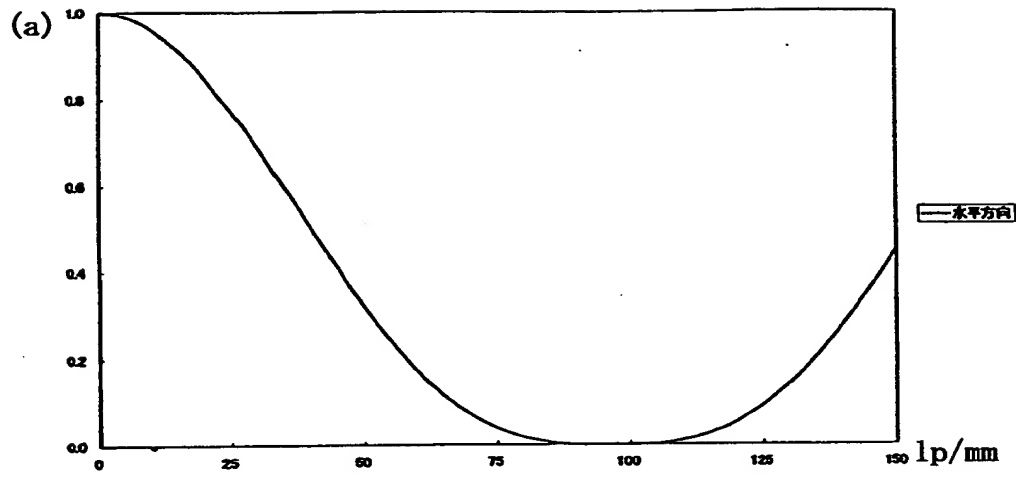
【図3】



【図 4】

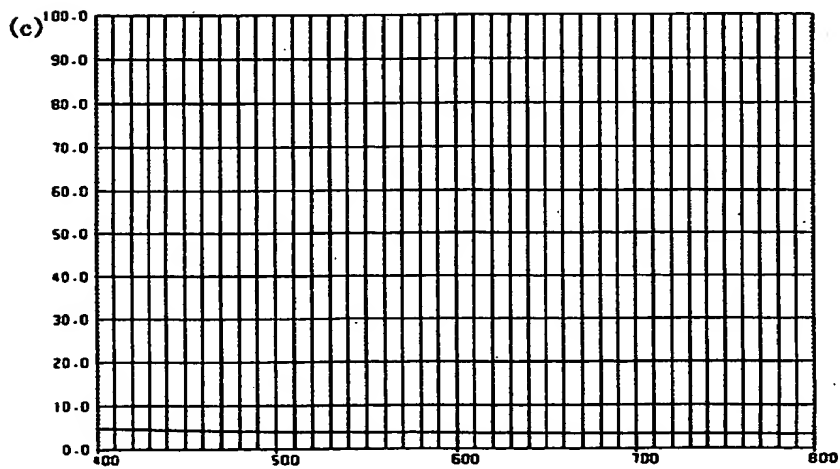
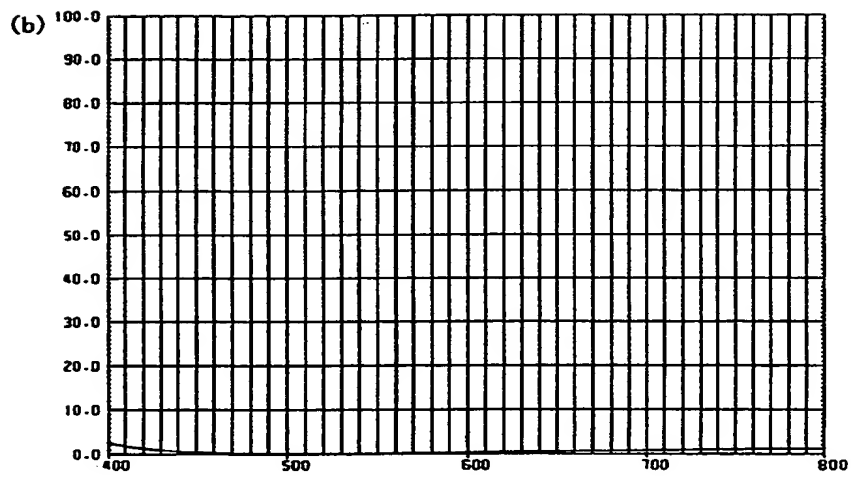
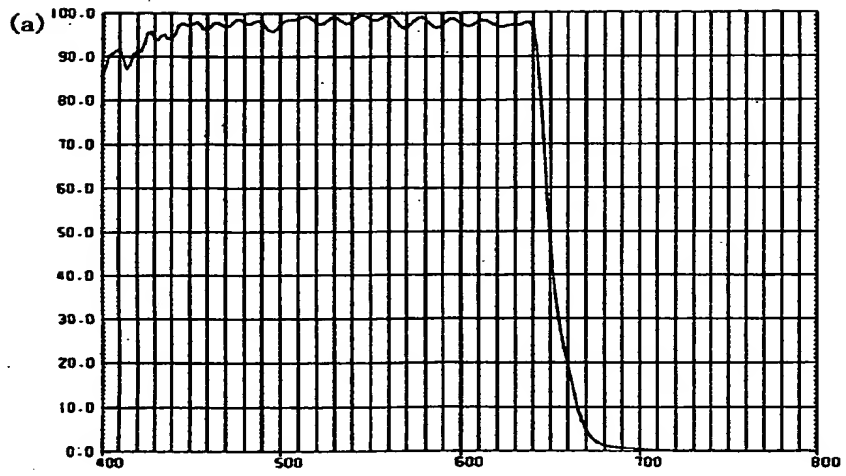


【図 5】



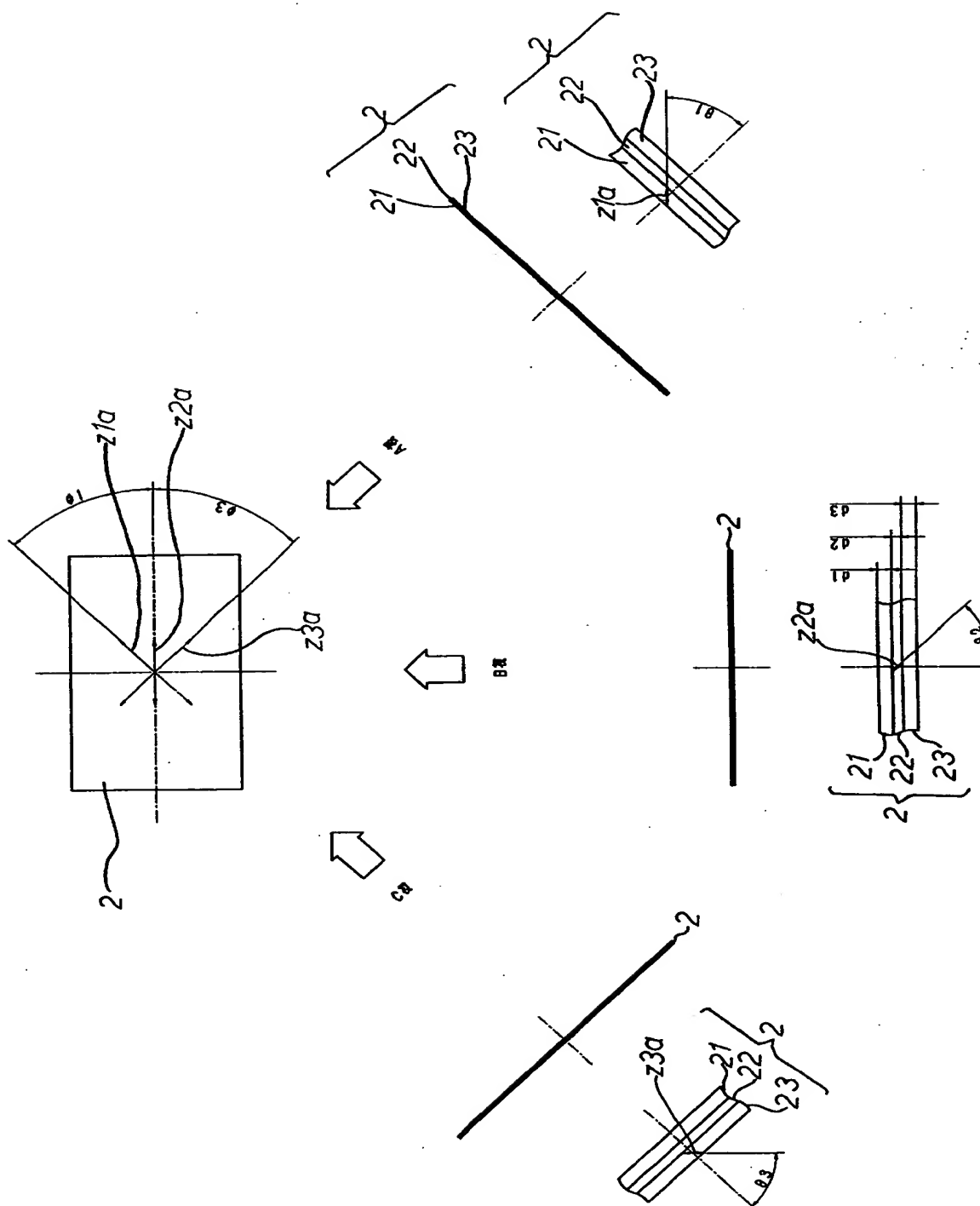
特 2 0 0 0 - 1 5 0 4 5 3

【図 6】

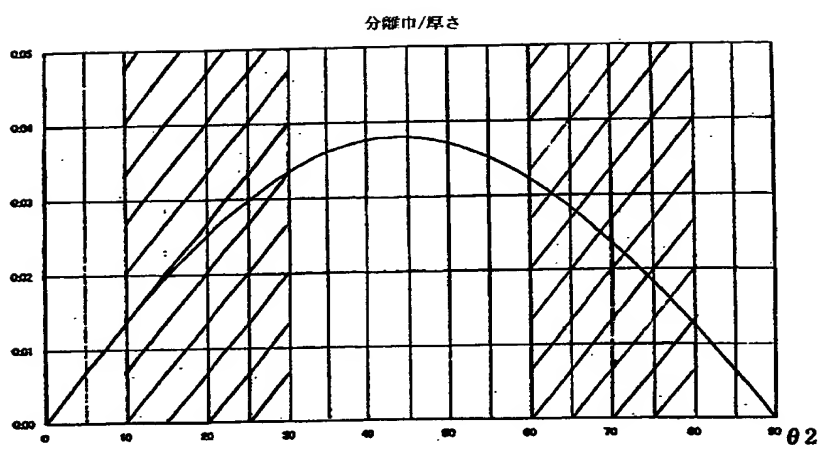




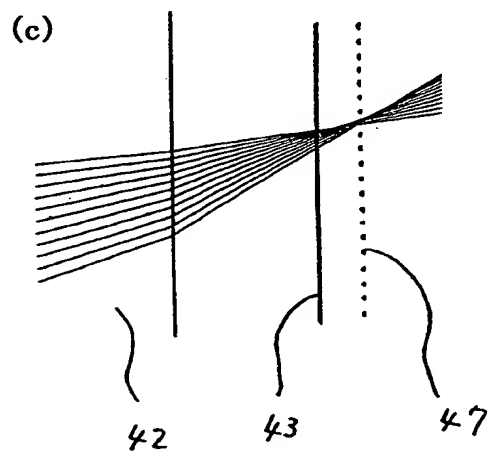
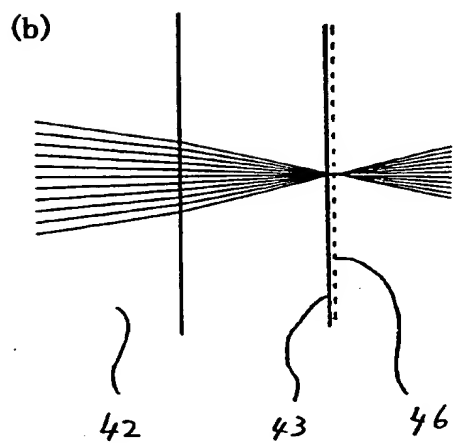
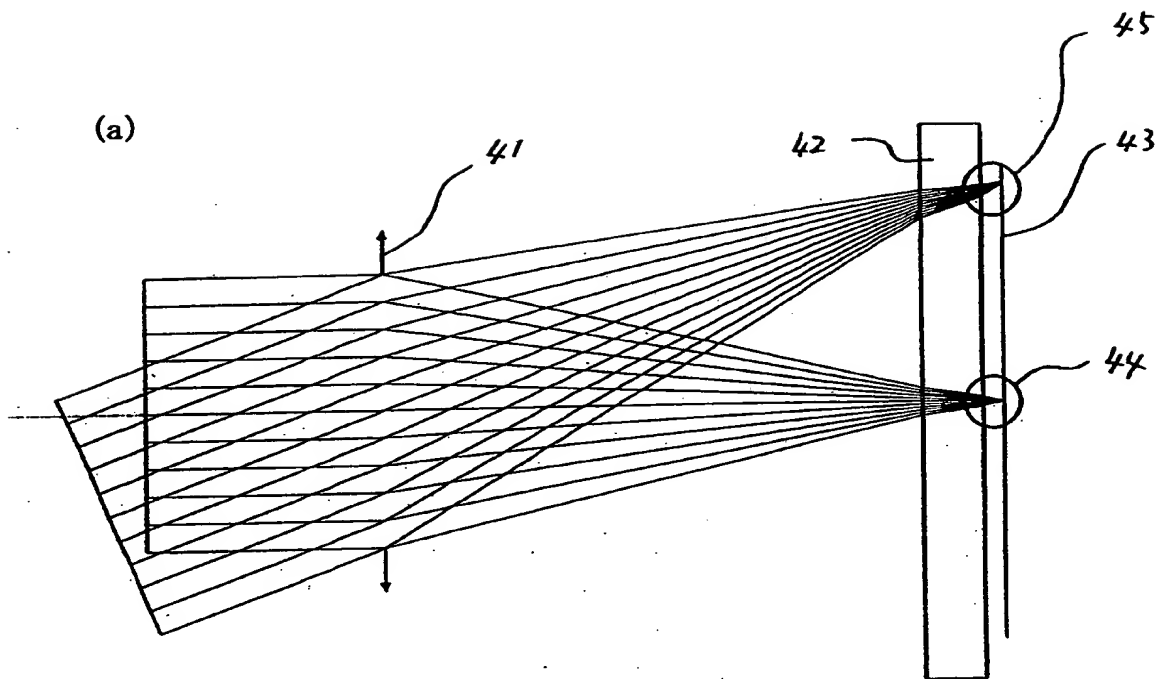
【図7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 厚さが薄く、しかも良好なローパス効果が効果的に得られ、良い光学性能が容易に得られる光学ローパスフィルタ及びそれを用いた光学機器を得ること。

【解決手段】 複数枚のニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を該複数枚の複屈折板の光学軸が互いに異なる方向を向くように組み合わせて接合して平行平板状に構成したこと。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
氏 名 キヤノン株式会社